

Czy przyroda może mieć intencje?^{*}

(Can Nature Have Intentions?)

MAREK DOBRZENIECKI

Papieski Wydział Teologiczny w Warszawie

mdobrzaniecki@pwtw.pl

ORCID 0000-0002-1992-3222

Summary. The review concentrates on Fodor and Piattelli-Palmarini's philosophical critique of adaptationism – one of the pillars of the theory of evolution. Their main objection refers to the explanatory weakness of Darwin's theory, namely that it is unable to predict (and explain) what are the traits that natural selection acts on? Because of this the authors classify theory of evolution under the rubric: "natural history", and they deny that it depicts a law of nature.

Streszczenie. Recenzja koncentruje się na filozoficznej krytyce adaptacjonizmu – jednego z filarów teorii ewolucji – przeprowadzonej przez Fodora i Piattelli-Palmariniego. Ich główny zarzut dotyczy eksplanacyjnej słabości teorii Darwina, a dokładnie jej niezdolności przewidywania, na jakie cechy będzie działać dobór naturalny? Z tego powodu autorzy recenzowanej pracy klasyfikują teorię ewolucji jako należącą do nauk historycznych i zaprzeczają, by przedstawiała ona jakieś prawo przyrody.

Słowa kluczowe: teoria ewolucji; adaptacjonizm; dobór naturalny; fenotypowe własności koekstensywne; prawa nomologiczne.

Keywords: theory of evolution; adaptationism; natural selection; co-extensive phenotype traits; nomological laws.

^{*} Recenzja książki Jerry Fodora i Massimo Piattelli-Palmariniego, *Błąd Darwina*, przeł. Marcin Gokieli, PWN, Warszawa 2018, ss. 297.

Jerry Fodor należy do najbardziej oryginalnych współczesnych filozofów analitycznych. Czy to na polu filozofii umysłu (formułując stanowisko nieredukcyjnego fizykalizmu (Fodor 2008, 56–75)), czy to na polu filozofii języka (gdzie wbrew opinii większości broni przekonania o istnieniu języka myśli oraz kartezjańskiego realizmu wobec stanów umysłu (Fodor 2011)), jego wystąpienia wzbudzają zawsze gorące dyskusje. Teraz wraz z Massimo Piattelli-Palmarinim Fodor podjął się tematu, którego temperatura i bez jego polemicznego temperamentu od dawna znacznie przekraczała poziom typowy dla debat naukowych – oceny wartości naukowej teorii ewolucji.

Autorzy *Błędu Darwina* rozpoczynają w związku z tym książkę od deklaracji, że swą krytyką darwinizmu nie mają zamiaru włączać się w dyskusje o inteligentnym projekcie. Fodor i Piattelli-Palmarini, zadeklarowani ateści, chcą wyjść poza alternatywę: albo wiara w Boga, albo wiara w Darwina. Tekst ma być rzeczową dyskusją (toczoną w ramach paradygmatu naturalizmu metodologicznego) nad pojęciem doboru naturalnego, która w konkluzjach chce doprowadzić do odrzucenia idei adaptacjonizmu – tytułowego błędu darwinizmu.

W kolejnych rozdziałach czytelnik ma okazję przyjrzeć się racjom autorów. Wpierw (rozdział 1) wskazują oni na podobieństwa między skompromitowanym behawioryzmem a darwinizmem (gdyż jeśli behawioryzm okazał się błędny, a darwinizm prowadzi do bliźniaczo podobnych wniosków, to powinniśmy zastanowić się nad prawdziwością tego drugiego), by przejść do analizy antydarwinowskich argumentów pochodzących z biologii. W rozdziałach 2–4 omawiają odkrycia mechanizmów nieselekcyjnych w przyrodzie, a w rozdziale 5 odkrycie tzw. struktur i procesów optymalnych; niekompatybilnych, ich zdaniem, z darwinizmem. Główny wniosek tej części pracy brzmi: „Teoria ewolucji nie docenia wagi czynników endogenicznych w procesie ustalania fenotypów” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 229). Następne dwa rozdziały Fodor i Piattelli-Palmarini poświęcają na argumenty natury filozoficznej. Głównym bohaterem w tej części pracy jest problem intensjonalności w kontekście adaptacjonistycznych mechanizmów selekcji naturalnej. W rozdziale 8. autorzy starają się dać odpór swoim przeciwnikom, a w końcowej partii książki odpowiedzieć na pytanie: „Co, jeśli nie

dobór naturalny?”. Odpowiedź zapewne nie będzie satysfakcjonująca dla tych, którzy w teoriach naukowych poszukują przede wszystkim prostoty: ponieważ prawdopodobnie „nie istnieje żadna cecha wspólna wszystkim procesom ewolucyjnym, to znaczy, że nie da się zbudować ogólnej teorii ewolucji” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 21).

W niniejszej recenzji skoncentruję się głównie na omówieniu filozoficznej części książki. Czynię tak z dwóch powodów. Po pierwsze, argumenty wymieniane przez autorów w części biologicznej to przytoczenia teorii i wyników badań innych naukowców (teorii evo-devo, która dostrzega rolę tzw. genów nadrzędnych w procesie rozwoju, filtrujących opcje fenotypowe, spośród których zmienne ekologiczne mogą dokonywać wyboru, eksperymentów Conrada Hala Waddingtona, który w eksperymentach nad muszkami owocowymi pokazywał możliwość wyłonienia się nowego fenotypu bez presji adaptacyjnej (Waddington 1957), teorii praw formy D’Arcy Wentwortha Thompsona (Thompson 1917), które pokazują, że wzrost biologiczny często podporządkowuje się prawom chemii i fizyki, na przykład niemal idealna minimalizacja kosztów połączeń między elementami sieci systemów nerwowych małych czy kotów da się wyjaśnić wyłącznie przy założeniu, że struktury biologiczne nie powstają w chaosie, jak sugeruje to darwinowski adaptacjonizm, lecz że „podporządkowują się” prawom fizyki i chemii, a w związku z tym „obraz ślepego poszukiwania przesiewanego przez dobór jest bardzo mało prawdopodobny” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 133). Jedynym wyjaśnieniem, według praw formy, jest istnienie jakiegoś filtra endogenicznego w postaci praw fizykochemicznych i geometrycznych) i w związku z tym nie stanowi ona najbardziej oryginalnej części pracy. Po drugie, autorzy przyznają, że wyniki przytaczanych badań zostały już przyswojone przez przedstawicieli nauk szczegółowych, a to, czego w dyskusji nad teorią ewolucji brakuje najbardziej, to filozoficznej analizy owych wyników.

Najważniejszy argument filozoficzny przeciw teorii doboru naturalnego brzmi następująco: teoria ta jest niezdolna do rozwiązania problemu koekstensywnych własności fenotypowych czy ekologicznych.

Jako przykład biorą dylemat Carla Hempela: co jest główną funkcją serca? Pompowanie krwi czy wydawanie odgłosów bicia (Hempel 1965)?

Na pozór pytanie jest naiwne, ale mimo to warto zastanowić się, skąd płynie nasza wiedza o głównej funkcji serca, a skąd pewność co do tego, co jest jedynie efektem ubocznym głównej funkcji (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 151)? Autorzy twierdzą, że wiedzę tę czerpiemy z analizy okresów kontrfaktycznych. Jeśli prawdą jest zdanie: „Gdyby serce mogło pompować krew bez wydawania odgłosów, to by to robiło”, to pompowanie krwi jest jego główną funkcją (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 153). Drugi przykład pochodzi z behawioralnej teorii uczenia się. Jeśli zwierzę wykonuje pożądaną przez eksperymentatora czynność w obecności bodźca (np. żółtego trójkąta), to można zadać pytanie, czego w istocie się nauczyło? Preferować żółte trójkąty czy żółte przedmioty? Można to sprawdzić dopiero, gdy przedstawi się zwierzęciu kolejne wzmocnienia, a zatem precyzyjniejsze określenie tego, czego się zwierzę nauczyło, może nastąpić dopiero *post hoc*. Sprawa się dodatkowo komplikuje, gdy opisy tego, co jest przedmiotem nauki, są lokalnie koekstensywne (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 158). Załóżmy, że osoba P wkłada rękę do wody. Po dzwonku w wodzie generowane są łagodne wyładowania elektryczne. P szybko uczy się wycofywać rękę po usłyszeniu dzwonka. Jeśli wśród odpowiedzi na pytanie: „Czego nauczył się P?”, znajdują się wyrażenia lokalnie koekstensywne (np. „Podnoszenia ręki”, „Usuwanie ręki”, „Poruszania ręką w kierunku sufitu”, „Podnoszenia ręki w kierunku przeciwnym do podłogi”), to ponieważ wszystkie one są właściwe, w tym sensie, że są spełniane przez czynności P, żadna z nich nie jest determinowana przez obserwację. Lekcja, jaką wynoszą z powyższych eksperymentów autorzy, to teza, że prawa asocjacji nie mówią nam nic o przedmiocie uczenia się.

Trzeci przykład pochodzi z filozoficznych rozważań nad stanami intencjonalnymi. Generalnie filozofowie dzielą się w tym temacie na dwie drużyny. Jedni uważają, że stan intencjonalny (np. zamiar, pragnienie, itp.) to tylko sposób mówienia bez konsekwencji ontologicznych (nie trzeba więc postulować istnienia takich bytów jak zamiary czy pragnienia). Druga grupa uważa te opisy za prawdziwe, a część z nich (ci, którzy uważają się za materialistów) stoi przed problemem ich naturalizacji – pogodzenia intencjonalności ze światopoglądem naturalistycznym. Jedną z takich prób jest Kripkego teoria przyczynowa, „zgodnie z którą, treść stanów intencjonalnych jest określona

przez ich powiązania przyczynowe” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 160). Autorzy „próbują” tę teorię na przykładzie żab i much. Ze zdroworozsądkowego punktu widzenia wydaje się, że żaba ma zamiar zjeść muchę, a nie znajdującą się blisko niej czarną plamę. Z drugiej strony, pojawienie się czarnej plamy wywołuje próbę złapania muchy. Jeśli teoria Kripkego jest słuszna i treść stanu intencjonalnego determinowana jest przez powiązanie przyczynowe, to równie dobrze powinniśmy powiedzieć, że żaba ma zamiar zjeść czarną plamę. Problem jest już nam znany: ponieważ obydwa opisy („Żaba ma zamiar zjeść muchę”, „Żaba ma zamiar zjeść czarną plamę”) są lokalnie koekstensywne, to obserwacja zachowania żaby nie doprowadzi do ustalenia treści intencji jej łowów (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 161).

Wszystkie omawiane przez autorów przykłady przygotowują grunt pod główny argument przeciw idei doboru naturalnego. Fodor i Piattelli-Palmarini twierdzą, że każdy jej zwolennik stoi przed podobnym problemem, co zwolennicy naturalizacji stanów intencjonalnych czy behawiorystycznych teorii uczenia się. Darwinowska teoria ewolucji głosi, że znamy odpowiedź na pytanie, dlaczego X-y mają własność P. Załóżmy dla dobra argumentu, że odpowiedź brzmi: „X-y mają własność P, gdyż posiadają własność F, która była przedmiotem działania doboru naturalnego”. Fodor i Piattelli-Palmarini rozważają teoretycznie przypadek, w którym X-y mają również własność G, która jest lokalnie koekstensywna z F. Skąd będziemy wiedzieć w takim przypadku, na którą własność działał dobór naturalny? Z powyższych przykładów wynika bowiem, że „żaden fakt na temat rzeczywistego świata nie pozwoli nam wskazać na jedno z rozwiązań kosztem drugiego” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 163). Żaden fakt nie pozwoli nam na wskazanie, która cecha, F czy G, jest pasażerem na gapę. Nie ma sposobu na sprawdzenie, który okres kontrfaktyczny: „Gdyby X nie posiadałby własności F, nie posiadałby też własności P” czy „Gdyby X nie posiadałby własności G, nie posiadałby też własności P”, jest prawdziwy. Jeśli własności F i G różnią się treścią, to winny też posiadać oddzielną historię ewolucyjną. Nie mamy jednak sposobu, by sprawdzić, która z tych historii jest tożsama z historią świata aktualnego.

Powyższy problem autorzy nazywają problemem „selekcji-ze-względu-na” [w skrócie: SWZN]. SWZN jest kłopotliwy dla adaptacjonizmu, gdyż obnaża

prognostyczną i eksplanacyjną słabość doktryny doboru naturalnego: nie potrafi on ani przewidzieć, ani wyjaśnić, ze względu na które cechy organizmu dokonała się selekcja (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 164). Czy selekcja dokonała się dlatego, że serce pompuje krew, czy dlatego, że głośno bije? Która z tych cech jest główna, a która podczepiona do głównej? Możemy utworzyć odpowiednie okresy warunkowe, ale sama teoria doboru naturalnego nie ma zasobów, by rozstrzygnąć ich wartości logiczne (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 175). To twierdzenie może wydać się dziwne wyłącznie tym, którzy nie potrafią wyciągnąć ostatecznych wniosków z faktu, że w przyrodzie nie istnieje żaden projektodawca. Jeśli zastanawiamy się nad tytułowym przypadkiem ze znanej pracy S. J. Goulda i R. C. Lewontina (Gould, Lewontin 2011), „Pendentywy w katedrze św. Marka a paradygmat Panglossa” (a problem ten brzmiał: w architekturze łuki i pendentywy są cechami koekstensywnymi. Czy główną cechą architektoniczną jest łuk, a pendentyw tylko jej skutkiem ubocznym, czy może jest na odwrót?), to nie mamy wątpliwości, że to pendentywy są „gapowiczami”. Wiemy to, gdyż architekci projektujący budynek z kopułą mają umysły, a w związku z tym, możemy ustalić ich intencję – w którą cechę chcą oni wyposażać budynek, projektując go, a która jest cechą podczepioną pod pożądaną (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 170).

Problem SWZN miałyby zatem swoje rozwiązanie, gdybyśmy przyjęli istnienie inteligentnego projektu. Wtedy wystarczyłoby ustalić intencję Wielkiego Inżyniera przy projektowaniu świata. W pewnym sensie rozumiał to Darwin, porównując selekcję naturalną do hodowli... bez hodowcy (Ayala 2009, 25–44). Według autorów, fakt ten wyjaśnia wszechobecność w literaturze ewolucjonistycznej, na pozór zaciekle walczącej z argumentem z celowości, antropomorficznych figur: Matki Natury, Ślepego Zegarmistrza czy też Samolubnego Genu (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 177). Fodor i Piattelli-Palmarini twierdzą, że strategii hodowli bez hodowcy nie da się konsekwentnie zrealizować. Proces doboru naturalnego jest zrozumiały tylko, jeśli pojmujemy go jako proces, za którym stoi umysł, mierzący w określone rezultaty. Prowadzi to do paradoksalnego rezultatu. Mimo, że to teoria Darwina jest często oskarżana o to, że dała ateistom skuteczne narzędzia do walki z teizmem, Fodor i Piattelli-Palmarini odrzucają ją,

gdyż nie dość radykalnie ruguje ze światopoglądu naukowego teistyczne skojarzenia: „Bardzo trudno jest tak naprawdę przedstawić takie ujęcie ewolucji, które sprawi, że *deus* zniknie z *machina*. Nawet Darwin sobie z tym nie poradził. My też ponieśliśmy porażkę, gdybyśmy musieli tkwić w okowach adaptacjonizmu. Zrezygnowaliśmy zatem z tego stanowiska” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 172).

Jedną z prób odpowiedzi na problem SWZN jest przywołanie przykładu tzw. sita Sobera (Sober 1993). W sicie leżą kolorowe kulki różnej wielkości, z tym że wszystkie małe kulki są czerwone, a wszystkie czerwone kulki są małe. Cechy „mały” i „czerwony” są zatem w tym przykładzie koekstensywne. Sito przesiewać będzie tylko kulki małe i czerwone, ale mamy silną intuicję, że dzieje się tak nie ze względu na kolor, lecz ze względu na rozmiar. Byłoby czymś dziwnym powoływać się na problem podobny do problemu SWZN, czy też fakt, że niemożliwe jest sprawdzenie, który okres kontrfaktyczny jest prawdziwy, by bronić tezy, że w gruncie rzeczy nie wiemy, która cecha: „mały” czy „czerwony”, odpowiada za fakt, że sito przesiewa małe, czerwone kulki. Autorzy odpowiadają, że przykład ten nie stanowi wyzwania dla ich stanowiska, gdyż w przypadku sita Sobera wiemy, jaki jest mechanizm selekcji. Innymi słowy, wiemy, co robi sito (odsiewa przedmioty ze względu na ich wielkość – jest to proces intensjonalny) (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 190). W przypadku przyrody nie wiemy, na czym polega mechanizm selekcji; nie wiadomo nawet, czy pytanie: „Co robi przyroda?” ma jakikolwiek sens, bowiem ewolucja nie jest procesem intensjonalnym.

Zarzutem autorów względem teorii ewolucji jest to, że udaje ona wyjaśnienie nomologiczne, podczas gdy stanowi ona pewnego rodzaju narrację historyczną. Wyjaśnienia nomologiczne są szczególnie cenione przez filozofię, gdyż jako dotyczące metafizycznie koniecznych relacji między własnościami, dają oparcie kontrfaktycznym okresom warunkowym (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 196). Nie można tego samego powiedzieć o wyjaśnieniach historycznych, które formułuje się *post factum*. Gdy historycy zastanawiają się, dlaczego Napoleon przegrał pod Waterloo, często wskazują na fakt, że jego kawaleria stała w grząskiej glebie, co uniemożliwiło jej szarżę. Nie ma jednak żadnej metafizycznie koniecznej relacji między stanem w błocie a wynikami

bitew. Nie istnieją też prawa mostowe łączące wyjaśnienia historyczne i nomologiczne. W pewnym sensie Darwin popełnił błąd podobny do błędu Marksa: uznał historię za dziedzinę teoretyczną, podczas gdy stanowi ona jedynie „heterogeniczny zbiór przyczyn i skutków” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 229). Przyroda, czy też rywalizacja między gatunkami, podlega więc prawom, lecz są to przede wszystkim prawa fizyczne (jak np. mechanika kwantowa), a nie biologiczne (jak darwinowski dobór naturalny) (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 197). Właściwa teoria ewolucji winna być rodzajem historii: powinna próbować odtwarzać wydarzenia, które następowały kolejno po sobie (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 200), podobnie jak historia ludzi bogatych może odtworzyć przyczyny, dla których doszli oni do bogactwa, ale nie będzie w stanie wskazać na żadną metafizycznie konieczną relację między statusem majątkowym a inną cechą (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 201).

Wydaje się, że największym zyskiem z pracy, jest obnażenie pewnego banału, którym często posługują się ewolucjoniści. Według autorów recenzowanej pracy, argument, którym często się oni posługują można sprowadzić do tezy: „Skoro dany organizm dobrze radzi sobie w określonego rodzaju sytuacji, to musi istnieć jakaś jego cecha [...], dzięki której tak jest (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 203), czy też: „Przeżyłeś, jesteś przystosowany” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 212). Problem nie tkwi w tym, że są to nieprawdy, lecz że są to prawdy na granicy tautologii (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 209). Zazwyczaj za największych oponentów teorii ewolucji uważa się kreacjonistów. Metaforycznie rzecz ujmując (jeśli jako wyznacznik lewicowości przyjąć dążenia sekularyzacyjne i demitologizujące), kreacjoniści stanowią prawicową opozycję Darwina. Pojawienie się „Błędu Darwina” oznacza, że rywal pojawił się także po jego lewej stronie: „Sądzimy, że udało nam się osiągnąć coś, co nie udało się darwinistom. W naszej maszynie nie ma żadnego ducha: Boga, Matki Natury, Samolubnych Genów, Ducha Świata, swobodnych intencji, fantomowych hodowców. W darwinizmie duch jest przemycany w niejawnych odwołaniach do wyjaśnień intencjonalnych. My zaś wskazujemy, w jaki sposób można się ich pozbyć” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 233). Z drugiej strony książka pozostawia pewien niedosyt. Zauważmy, że kontekstem teorii Darwina był rozkwit, szczególnie po

odkryciu mikroskopu, prac fizykoteologicznych, których autorzy, pozostając pod wrażeniem porządku i harmonii istniejących w przyrodzie, dowodzili, że ich wyjaśnieniem może być tylko istnienie Stwórcy (McMullin 2014, 109–136). Darwin, opierając swoją teorię na zasadach walki o byt i doboru naturalnego, zaspokajał dokładnie tę samą ciekawość poznawczą. Tłumaczył, w jaki sposób możemy zrozumieć harmonię i porządek przyrody (innymi słowy, dostosowanie się organizmów do środowiska), bez odwoływania się do przyczyn nadprzyrodzonych. Fodor i Piattelli-Palmarini odrzucają jego tłumaczenie, ale nie proponują w tym aspekcie niczego nowego. Nawet jeśli zgodzimy się z ich tezą, że teoria ewolucji należy bardziej do dziedziny historii naturalnej niż do nauk szczegółowych, wciąż pozostanie pytanie, jak to się stało, że owa historia doprowadziła nas do stanu, w którym obserwujemy dostosowanie się organizmów do środowiska, a nie chaos? Autorzy mogliby pewnie wskazać jako swoją odpowiedź na istniejące prawa fizykochemiczne, ale nie analizują, czy same one wystarczyłyby do tego, by wygenerować np. takie zachowania zwierząt, które dla naiwnego obserwatora wydają się być intencjonalne. Ich opinia, że „organizmy ‘zarażają się’ fenotypami od warunków ekologicznych tak, jak zarażają się katarem” (Fodor, Piattelli-Palmarini 2018, 231) nie zasługuje na miano teorii tłumaczącej dostosowywanie się organizmów, na co zresztą wskazuje użyty przez nich samych cudzysłów.

Nie ulega mimo to wątpliwości, że *Błąd Darwina* to praca odznaczająca się bogactwem argumentacji, która czerpie z dorobku rozmaitych dziedzin biologii i filozofii (w każdej z nich osiągnąwszy wysoki poziom fachowości) oraz taką odwagą formułowania hipotez i precyzją ich uzasadnienia, że winien się z nią zapoznać każdy zainteresowany debatą nad teorią ewolucji.

Bibliografia

- Ayala, Francisco J. 2009. *Dar Karola Darwina dla nauki i religii*. Przeł. Piotr Dawidowicz. Warszawa: Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.
- Fodor, Jerry. 2008. „Nauki szczegółowe (albo: niejednorodność nauki jako hipoteza robocza).” W: *Analityczna metafizyka umysłu*, red. Marcin Miłkowski, Robert Poczobut, 56–75. Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Filozofii i Socjologii PAN.

- Fodor, Jerry. 2011. *Język myśli. Lot 2*. Przeł. Witold M. Hensel. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Fodor, Jerry, and Piattelli-Palmarini, Massimo. 2018. *Błąd Darwina*. Przeł. Marcin Gokieli. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Gould, Stephen J., and Lewontin, Richard C., 2011. "Pendency w katedrze św. Marka a paradygmat Panglossa." Przeł. Krystyna Bielecka. *Przegląd Filozoficzno-Literacki* 31: 63–85.
- Hempel, Carl G. 1965. *Aspects of Scientific Explanations and Other Essays in the Philosophy of Science*. New York: Free Press.
- McMullin, Ernan. 2014. *Ewolucja i stworzenie*. Przeł. Jacek Rodzeń. Kraków: Copernicus Center Press.
- Sober, Elliott. 1993. *The Nature of Selection. Evolutionary Theory in Philosophical Focus*. Chicago: University of Chicago Press.
- Thompson, D'Arcy W. 1917. *On Growth and Form*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Waddington, Conrad H. 1957. *The Strategy of Genes*. London: Routledge.